



TITLE:

脳と意識(脳のダイナミクスと意識,複雑系5)

AUTHOR(S):

苧阪, 直行

CITATION:

苧阪, 直行. 脳と意識(脳のダイナミクスと意識,複雑系5). 物性研究 1997, 68(5): 559-570

ISSUE DATE:

1997-08-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/96125>

RIGHT:

脳と意識

おさか

荳阪直行

京都大学文学研究科心理学研究室

最近心理学や哲学以外の科学者が意識に強い関心を向けはじめたのにははっきりした理由がある。まず最も大きな理由は、脳の高次機能の解明が急速に進展したことである。神経科学を中心として脳の高次機能のはたらきが次々と明らかにされ、脳のはたらきを通して意識を考えることが現実味をおびてきたことがあげられる。また、意識を科学的に捉えるキー概念である注意の脳内メカニズムが明らかになってきたことも大きい。たとえば、心理学では長らく構成概念としてしかみられなかった注意が実際に脳内に神経基盤をもつ実体概念であることが解明されてきた。つまり、注意が情報を束ねるはたらきをもつことがわかってきたのである。そして、脳が行なっている膨大な無意識的な情報処理の発見がある。見たり聞いたり歩いたりといったヒトの知覚や運動などのアウェアネス・レベルの意識はその多くが並列分散的で無意識な情報処理であり、そこでは意識化されない情報の束ねや選択が生じていることがわかってきた。

さらに、意識情報処理のモデリングの発展がある。ニューラルネットや計算理論による脳の高次機能のモデリング、物理での非線形ダイナミクス分野で注目されているカオス理論によるモデリング、量子力学からの量子論によるモデリングの他、意識の認知心理学的あるいは認知哲学的なモデルも盛んに提案されるようになりこれが意識の科学的研究に刺激を与えている。そして意識研究に最も大きな影響を及ぼし、意識研究の飛躍的な進展に寄与したのはツーソン会議でも見られた PET を始めとするニューロイメージング技術の著しい進展である。脳の血流量をはかる PET、磁場をかけて脳を調べる機能的 MRI、脳の微小磁場を超伝導コイルで測定する MEG など高機能のニューロイメージング装置によって直接生きている脳を見ることができるようになったことが意識研究に大きな研究上の飛躍をもたらしているのである。

意識のニューロンモデル

意識は脳のニューロンが生み出す脳内過程であるとする考えである。Watson とともに DNA のラセン構造を明らかにし 1962 年にノーベル生理学医学賞を受賞した分子生物学者 F.Crick もこの立場にたつ。若い時代に遺伝子というミクロの世界をきわめた後でこんどは意識を研究対象に選んだ Crick は意識のしくみを徹底的に脳のニューロン活動をもとにして検証してゆこうとする。シトシンやアデニンなど比較的単純な構造をもつ塩基対が複雑だがうつくしい DNA のラセン階段をつくるように、やはりそれ自身は単純な構造しかもたないニューロンが複雑なネットワークをもつことによって意識がつくられると考えるのである。Flanagan(1992)のひかえめな推定でもヒトの脳皮質がおおよそ 10^{11} 個のニューロンから構成され（これは銀河系の星の数に匹敵する）、さらに個々のニューロンが 10^3 のシナプス結合をもつとすると膨大な相互結合があることになる。Crick や同様の立場に立つ共同研究者の Koch によればデカルト以来の心身二元論は考えなおすべきで、すべては脳のニューロン集合のはたらきに還元されねばならないという(Crick & Koch, 1992; Crick, 1994)。これはニューロン還元主義とも呼ぶべき立場だろう。現代の科学者の多くは基本的にはこのニューロンモデルに好意的である。ただ、このモデルでヒトの高次な意識や心の問題がすべて完全に解明できるとする立場をとる研究者（たとえば、Patricia Churchland, 1986）から、このモデルで検証できるのは意識のごく基本的仕組みにすぎないという立場まで評価の幅は広い。ニューロン還元主義が意識のはたらきの基盤のある部分をうまく説明できたとしても、リカーシブな意識つまり意識は意識自身を、あるいは脳は脳自身を考えることができるように作られていることについて説明することは現在のところできない。意識が自己認識的な性質をおびていることを説明するのはかなり重要な課題であるのでこれを無視することはできない。とはいっても、現在の意識研究は当面そのはたらきの成立基盤（後述の 3 つの意識のうちの覚醒とアウェアネス・レベルの意識）の物質的基礎を洗い出すことと、それに情報処理表現を与える段階にあるにすぎない。一方、神経生理学者 J.Eccles のように意識を脳過程に完全に還元することはできないとする立場をとる人々がいることも忘れてはならない。彼らの考えでは意識は脳とは独立な精神性をもつ過程とされ、両者の間に相互作用を考える心脳二元論がとられる。

高次な脳の情報処理の様式としての意識

中間レベルからさらに高次な意識について考える時、ここでは意識のはたらきはある制約条件のもとで情報を束ねる機能にあると考えてよいだろう。つまり、意識のはたらきは生態的環境に適応するために最適化にむけて情報の束ねを可能にするはたらきにある。意識はいわば志向性をもつ高次な脳の情報処理の様式であるといえる。

ここでは意識を認識と行動を束ねる高次機能と考える立場から意識過程を有用な情報処理過程と考え、生物が生存のために必要とする志向的な機構と考えたい。したがって、意識のはたらきは情報の競合や協調、さらには統合とのかかわりにおいて理解されねばならない。さて、意識を実験可能なレベルで考えるとき、意識研究と密接に関連する認知の分野

として表1のようないずれも現在話題となっている研究分野があげられる。これらの分野は表立って意識の研究と銘打ってなくてもそれぞれ意識に対していろいろな側面から貢献が期待される分野である。

意識の三階層

認知過程にかかわる意識はおおよそ三つのはたらきをもっている（図1）。それは覚醒、アウェアネスとリカーシブな意識（自己意識）の3つの水準と対応している。三つの意識の階層は認知的処理のちがいでみても覚醒、アウェアネスそしてリカーシブな意識の順により深い認知機能をもつ。また、この三つはそれぞれ、基盤となる生物的意识、中間レベルの知覚運動的意識、高次の自己意識に対応している。

最初のもは目覚めた状態で覚醒（vigilance）と呼ばれる。覚醒は睡眠と対にして扱われ刺激の受け入れに対して準備ができた状態といえる。これらの覚醒や睡眠の諸段階は脳幹のコリン系やアミン系などのニューロトランスミッターのはたらきによって調整されているといわれ、脳波にもはっきりとこれらの段階の特徴があらわれる。覚醒の神経機構としては、神経生理学者マゲーンの網様体上行性賦活系理論が有名である。この理論では、脳幹の網様体に感覚信号が集められ、ここで作くりだされる信号が視床を介して新皮質全体を賦活し、覚醒状態をもたらすとされる。一方、これとは別経路の賦活系や覚醒や睡眠を制御する神経伝達物質もあいついで見いだされており覚醒の神経機構の物質的基礎の解明が急速に進展している。

知覚	知覚、注意、選択的注意、運動、脳のバインディング問題、心的イメージ、閾下知覚、盲視、自動性、内観の言語報告、半側空間無視、感覚・運動モジュール
記憶	潜在記憶、ワーキングメモリ、短期記憶、容量限界、プライミング、記憶増進、エピソード記憶、記憶リハーサル、手続き的記憶
プランニング	自己制御、意図、技能、心的努力、目標志向行動、プランニング、意志決定、問題解決、主観的時間
睡眠	睡眠、夢と覚醒、昏睡、催眠、健忘症、放心状態、昏睡状態、麻酔状態
その他	網様体賦活系、皮質活性化、注意のハビチューエーション、随伴性陰性電位

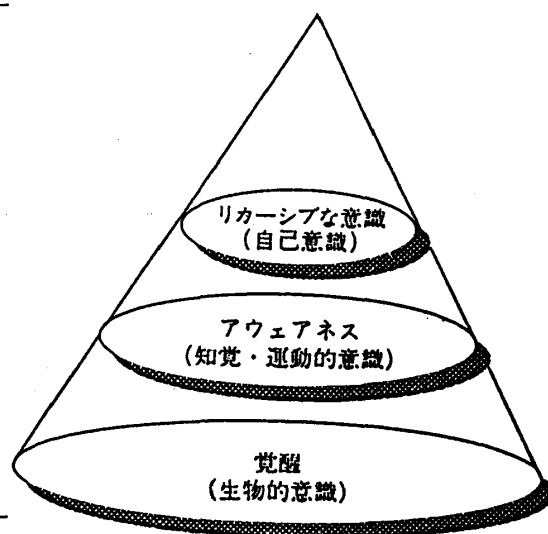


表1 意識研究の分野

図1 意識の三階層

二つめの意識は刺激を受け入れている状態あるいは運動している状態で、アウェアネス（awareness）という。モノやコトに向かう意識は何かに気づくというはたらきを含むという意味でアウェアネスとよばれる。アウェアネスは気づきであり、特定のモノやコトに向か

う志向的な意識でもある。アウェアネスは、見たり聞いたりといった知覚している状態やからだを動かしたりする状態であり、さらに注意にもとづく刺激や反応への選択性が認められる。知覚と行動をむすびつける注意のはたらきが生じ、また注意を向けるか向けないかで対象の意味が異なってくるのもこの段階の特徴である。

三つめの意識は対象が自分の意識そのものである場合で、これはいわば自己に向かう再帰的（リカーシブな）意識（recursive consciousness）であるという意味でここではリカーシブな意識と呼ぶ。これは自己についての意識であるから、情報处理的には自己の認識のためのメタ情報処理ということになる。意識の三つのはたらきのうち、とりわけリカーシブな意識は心のはたらきを脳の進化とか認知科学的な視点からとらえるとき興味深い性質をもっているし、思考という最高レベルの情報処理もリカーシブな性質を帯びているという点で共通項をもっている。デカルトや二十世紀初頭の意識心理学におけるヴェルツブルグ学派では意識は思考とほぼ同じ意味に用いられてもいることから考えても、このリカーシブな意識は重要であるが、三つの意識の中でも最も研究が遅れている。さて三つの意識の階層のうちここでは認知機能とかかわるアウェアネスとリカーシブな意識について簡単にみてゆきたい。まずアウェアネスについてみる。意識は知覚や運動にもあらわれるという立場からここでは意識をより広い意味領域をもつ概念と考える。

外界を認識する意識—視覚的アウェアネス—

視覚は外界の可視光線（電磁波）をとらえてそこから情報を得るための感覚であり、視覚的動物であるヒトの脳のおよそ30%は視覚とそれにかかわる処理のために使われている。Kochは意識は視覚的アウェアネスを通して理解するのが現時点で最もよい方法だと考えている。たとえば視覚的アウェアネス（見ること）はより高次の意識と同様にかなり構成的かつ復元的な過程を含んでいる。たとえば両眼の網膜に映る外界の像は二次元の画像にすぎないが、われわれが実際に知覚するのは奥行のある三次元の世界である。二次元の手がかりから三次元の知覚世界を構成的に復元する視覚的アウェアネスのはたらきは、競合する情報を選択し、協調する情報を束ねてアクティブで一貫した視覚的意識を構成する。見ているものがそこにあるのではなく、脳が信じているものをそこに見るというトップダウン的な認識でさえ視覚はやってのけるのである。例えば図2の左の“奥行きあいまい図形（Necker cube）”を凝視していると立方体の前面と後面が交代して2種類の見えが観察できる。どちらの面が手前に見えるかは奥行き情報の束ねがどのようににはたらくかに依存している。2種類の見えが同時に観察されることはない。一方が認識されれば一貫した整合性の制約がはたらいてしばらくは他の見えが生じることは抑制される。図2の右の図形では左右の立方体がそれぞれ2種の見えをもたらすので組み合わせを考えると4種の異なる見えが観察できる。いずれも視覚の二重安定状態といえる。また視覚的アウェアネスの構成的なはたらきには部分的な情報から全体を復元する補完や充填などの過程がふくまれている。図3のカニツアの三角形では“見えない”輪郭線が補完されてみえる。パタンの全体構造に依存してゲシュタルト的充填が行われている。

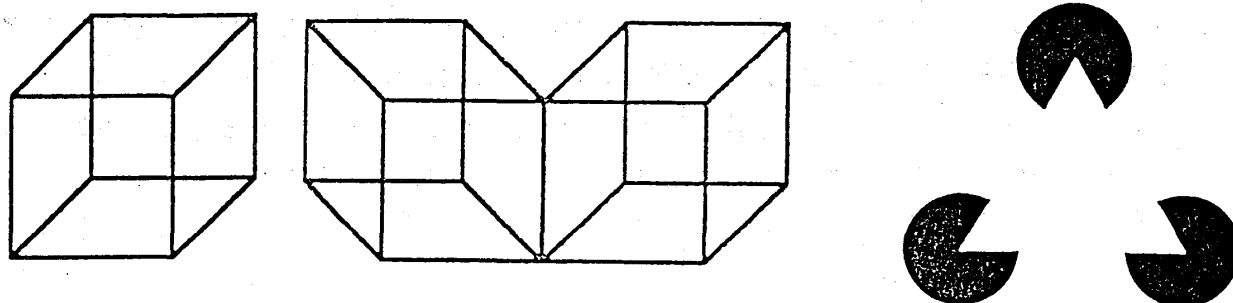


図2 奥行き曖昧図形（左：Necker の立方体、右：その応用） 図3 Kanisza の三角形

視覚的アウェアネスに対して運動的アウェアネスがあるがこれについては別稿にゆずる（芋阪、1996a）。

リカーシブな意識—自己についてのメタ意識—

次に三番目の意識であるリカーシブな意識についてみる。“意識はそれ自身を意識できる”という興味深い性質を帯びている。これは意識が自己認識の機能をもっていることを示している。認識の対象に自分自身が含まれているという側面は意識に固有のはたらきである。このはたらきを脳がどのように実現しているのかは不明であるが、情報処理的な表現を与えるとすれば、まず循環的な入れ子構造をもつ脳のシステムを考えることができよう。自分の意識状態がリカーシブ（再帰的）に、モニタできることをメタ認識というが、これは意識がある制約条件下で自分自身を自己制御していることに他ならない。リカーシブな意識というのは、いまの心の状態に対して向けられたもう一つの心の状態ともいえ、一種の“入れ子（ネスティング）”構造を考えればよいことになる。

情報処理的にみたとときこれは、Minsky(1985)のいうB脳のはたらきと類似している。彼は脳をA脳とB脳にわけた。A脳の入出力は実際の世界に結びつけられているのでA脳は外界で生じていることを知ることができる。一方、B脳はA脳のはたらきの詳細について知らなくても、それほど強くない権限で管理することができる。何がおこっているのかはわかっているのに、それを正確に記述できないというのもB脳の特徴だ。MinskyはB脳はA脳で生じていることを知っているという意味で、脳のシステムは全体として考えたとき局所的にリカーシブな意識をもっているといっておくと考えるのだ。B脳の権限が強すぎてA脳への干渉が強くなりすぎると不必要な混乱や不安定状態が生じるので、B脳の権限を弱めて考えているのが彼の考えのおもしろいところだ。このような機能的入れ子がもしあるとしたら、それは脳の進化を考える上でも大変おもしろい。このようなリカーシブな意識には当然ながら高度な並列処理が必要とされよう。B脳のような機能が、A脳から自律的に一種の意識の自己組織化の産物として脳の進化と淘汰の過程で形成されるとしたらきわめておもしろい“自己”意識の誕生物語が考えられることになる。もし脳が自己組織化のメカニズムにより脳自身をも意識化の対象とするにいたったのであればその進化論

的意義は大きい。実際カオス・モデルを用いたシミュレーション実験ではある状態下のアトラクタが自己組織的に進化する事が知られている。また、自分の中に自分を埋めこむリカーシブなオートマトン（計算機構モデル）なども考えることができる。この問題についてはヒト以外の動物がリカーシブな意識をもつかどうかについても同時に考える必要があろう。リカーシブな意識は脳新皮質が発達したヒトやチンパンジーにみられる特徴であり、リカーシブな意識こそが思考の基盤をかたちづくり、心的表象の保持や操作を可能にし、柔軟で高度な社会的コミュニケーションを可能にしているのだといえる。

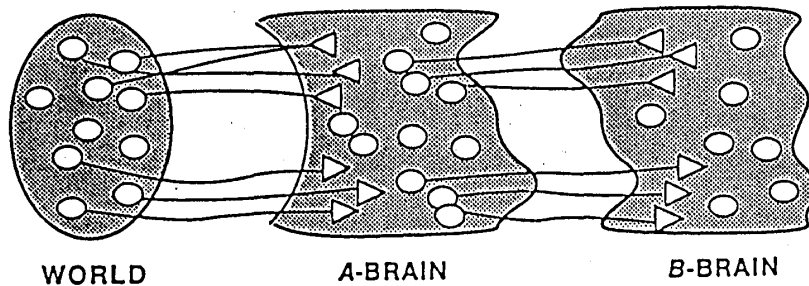


図4 Minsky(1985)の入れ子の脳の図

意識を考える三つの視点

情報処理から意識を考える場合に次の三つの視点がポイントになると思われる。すなわち、

- (a) 意識の局在問題
- (b) 意識の並列性問題
- (c) 意識のバインディング問題

である。これらの問題は相互にリンクしているので切り離して考えるのはむづかしいが、情報処理としての意識を考える場合のヒントとなる。まず最初の局在問題からみてゆく。

(a) 意識の局在問題—脳と心の関係—

フランスの哲学者デカルトはすでに17世紀に、身体は機械が動作するのと同じ原理で動くが、心はそれとはちがう心的な過程をもつと考えた。デカルトは考えることと意識することはほぼ同じ意味でそれが心的な過程を形成すると考えた。彼は考える存在としての心を機械である身体との複合体としてとらえ、心と身体を独立した実体として考え、いわゆる心身二元論を提唱した。そして、デカルトは脳の視床上部にある小さな球状の器官、松果体に心身がかかわる場所、つまり意識の座をおいた(図5)。この心の松果体仮説は歴史的にはデネットがいうところの“デカルトの劇場(Cartesian theater)”モデルと呼ばれる意識の局在論につながってゆくことになる。

“意識は局在するか”という問いは古い歴史をもつ。脳の研究史は機能の局在論と非局在論の論争の歴史であったといえる。感覚や運動を司る脳の部位が局在していることはかなり以前から脳に部分的な損傷をもつ患者の臨床例を通して理解されていたが、19世紀初頭オーストリアの解剖学者ガルは局在論を高次の認識能力にまで拡大して考えた。たとえ

ば推理の能力は大脳皮質の特定の部位に局在し、推理能力にたけた人はその部位が隆起するので外から頭蓋の形をみればわかるという主旨のものであった（図6）。このアイデアは弟子により骨相学と名づけられ一時流行したが科学的な根拠のないものでありすぐにはたれた。にもかかわらずこの心的能力の局在論の考えはその後の脳研究に影響を与えた。たとえば言語の理解と表出にはそれぞれ Wernicke や Broca の領野とよばれる局在した脳の部位が関与していることなどが発見されている。骨相学が意識の局在を示唆しているわけではないがその思想は姿をかえて現在の神経科学のニューロン還元主義の思想の一部にもつながっているように思える。

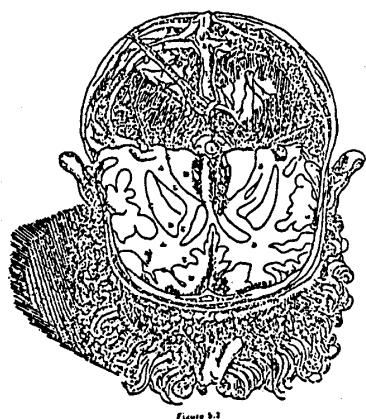


図5 Descartes の松果体モデル

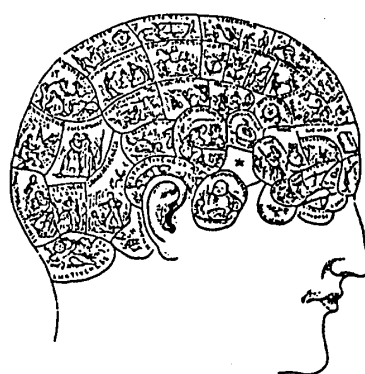


図6 Gall の脳の局在図

さて、時代をデカルトが生きた17世紀にもどそう。心身二元論において、デカルトは脳の視床上部にある松果体に心身がかかわる場所つまり意識をおいた。当時も現在も、松果体を意識の座とする科学的根拠は全くないが、ここに意識の座を求めたという意味でこの松果体仮説は意識の局在論のさきがけとなり近世以降の主要な哲学的課題となった。意識の脳内局在を主張する考えをここではすでにふれたように劇場モデルと呼んでおこう。今日でも、松果体ではないが、前頭前野や網様体など脳内の特定の部位に意識の局在を認めようとする立場があり、このような考えはやはり現代版の劇場モデルに近い。残念なことに意識の局在問題については現代科学は今のところ確かな答をもっていない。しかし、いろいろな間接的証拠から意識は広く脳内に分散的に表現されていると考えられている。ごく一般的な知見は脳の表層に位置する新皮質と深層に位置する網様体や大脳基底核などの脳幹の部位との相互作用のなかに意識がみられるという考えである。

さて、劇場モデルでは意識の生成発現にかかわる情報はすべて脳内のある場所、すなわちデカルトの劇場に集められると考える。最近の脳の機能マッピング研究における情報処理のモジュール形式の発見は、劇場モデルの考えを受け入れやすい下地をつくっているし、意識の局在論にも大きな影響を与えている。機能マップのなかに意識のマップを含めようというのが“劇場派”の考えである。

ここで意識の局在論を脳のモジュール理論から検討してみよう。知覚系と運動系は外界との入出力のインターフェースの役割をはたし、知覚系も運動系も並列的にはたらくモジュール機構によって営まれている。さてモジュール形式とは情報をもついろいろな属性が脳内に局在した専用の処理機構により並列的かつ準独立的に処理されるとする処理の様式である。たとえば、最近脳の視覚の機能マッピングの仕事を行っているアメリカの神経科学者 Felleman & Van Essen(1991)の神経科学的研究によると、脳内の視覚情報処理機構は基本的に30あまりのモジュールから構成されているという(図7)。たとえば見ている対象の色彩・形態(何が what の情報)や運動・空間(どこに where の情報)は基本的に異なるモジュール(群)で処理され、しかも前者は第一次視覚皮質 V1 から側頭連合野に至る腹側経路(ventral stream)で、後者は頭頂葉連合野に至る背側経路(dorsal stream)で主に処理されるという(Ungerleider & Mishkin, 1982)。

ところで、モジュール群は並列的な性質と階層的な性質を備えていることがわかっている。脳の情報処理様式が階層性を持ち、アメリカの認知科学者フォードがいう領域特異的計算機構(準独立的モジュール構造で無意識レベルではたらく)であることが神経科学の進歩により少なからず明らかにされたが、これらのデータが最も高次レベルでの統合系としての意識のはたらきが注目される理由の一つとなっている。階層があるということはモジュール性をもった構造への分解が可能となることであり、したがって意識の情報処理のある部分についてはモジュール的な形式があてはまるのではないかという予想がでてくる。

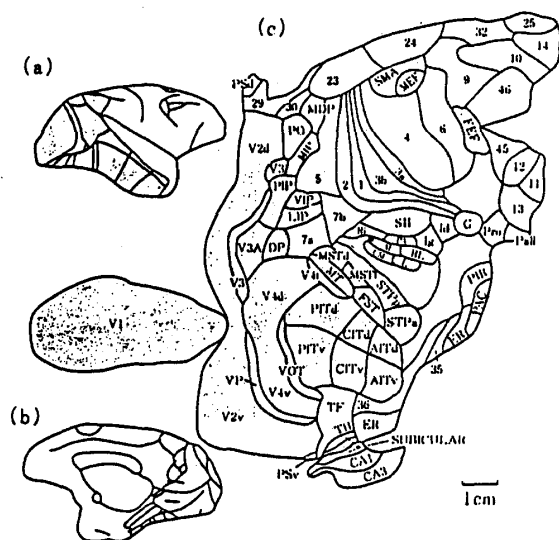


図7 視覚モジュールの図

意 識	無 意 識
直列的	並列的
低い計算効率(エラーが多い, 低速処理, 相互干渉あり, 処理の硬直性)	高い計算効率(エラーが少ない, 高速処理, 相互干渉なし, 処理の柔軟性)
非モジュール的	モジュール的
コンテクスト的	コンテクストから独立
意図的	自動的
継時的	同時的
整合的	非整合的
容量限界をもつ	容量限界をもたない
意識的注意が必要	意識的注意なしに生じる
随意的	不随意的

表2 意識・無意識処理の特性

一方、局在論に対して、脳内にはいろいろな情報を集めて意識を“一貫生成する場所”はなく、したがって局在もありえないとする非局在論の立場がある。この立場では意識は脳内に広く大域的かつ分散的に表現されると考える。これは意識はモジュールを越えた分散

的な形式でしかとらえることができないという立場でもある。

(b) 意識の並列性

意識を考えるにあたっての二番目の重要な視点は、“意識は直列的か並列的か”という並列性の問題である。意識生成の脳内メカニズムが並列分散的であるにもかかわらず、直列性をもあわせもつことの意味（意識の処理モードのパラドックス）はどこにあるのか。ここでは直列という意味に逐次的処理を、並列という意味に同時的処理を考える。時間過程でいえば前者は単一の、後者は複数の処理が可能である。

意識が基本的に並列分散的であるにしても、われわれが“感じる”のは“時間の流れ”であり逐次的直列性をおびた意識である。ジェームスは心的活動をありのままの姿でとらえるとき、連続的な“意識の流れ(ストリーム オブ コンシャスネス)”があるといった。流れの連続性をどうとらえるか、あるいは意識が並列性を本質とするのか現象として経験される逐次的直列性を固有の性質と考えるのかについても議論がわかれる。ここでは“意識の流れ”が並列処理と直列処理とどのようにかわるかをめぐる問題を並列性の問題と呼ぼう。全体的現象としての流れを認めはするものの、本質的には意識は並列的（で無意識的な）モジュールの複合的競合状態から生まれると考えられる。つまり、無意識過程には同時並列性を考える一方では、意識化過程には逐次直列性をという大きな制約がかけられているため、現象的体験として意識の流れが認識されるということである。たとえばJohnson-Laired(1983)は意識を心の管理システムが関与する高次レベルの計算をコントロールする変数の現在値になぞらえて考える。そして、計算論的にはもともと並列的な過程を順次的あるいは直列的な見方でしかとらえることのできない心の管理システムによってとらえることはむづかしいと考えた。管理システムでの逐次的計算過程は意識現象を生みだすが、モジュールのレベルでの並列的計算は知覚や運動システムでは無意識的に遂行されるということで、要するに、意識と無意識過程のちがいは本質的には処理の順次直列性と同時並列性の問題とリンクしているということである。

ここで意識の情報処理における並列性・直列性の問題を整理してみよう。並列処理システムがもつ長所として、すばやく動作する専用の知覚・運動システムをもちうること、容量の大きなこと、障害に強く、柔軟な処理が可能なことなどがあげられる。たとえば機能のモジュール化と階層化が進んでいる視覚系では全体としてかなり複雑なこの系を下位のモジュール群が並列的に相互作用を営みながら支えているので障害に強いといえる。視覚系という大きなプロジェクトをうまくはたらかせるにはモジュール化と処理の階層化が欠かせないし、淘汰を原理とする視覚の進化がこれを推し進めたといえる。一方、直列的システムでは相対的な処理容量の少なさ、速度の遅れ、障害に弱いことなどがあげられる。もし視覚系がモジュール化と階層化なしで直列的システムとしてはたらくとしたら、システム全体は複雑になりその管理が困難になろう。さらに複雑さと反比例して障害に弱くなり環境への機敏な適応がむづかしくなるだろう。そこで、意識過程を直列的、無意識過程を並列的と想定した比較表をつくってみた(表2)。意識過程が直列的であると仮定すると、

それは計算論的には効率が悪く、容量限界をもつ一方では継時整合性をもちうる。これに対して、無意識過程が並列的であるとすると、それは自律的で計算論的にも効率が良くまた容量限界をもたないが、整合性はとりにくいということになる。このように考えると、意識過程は無意識的並列システムを基礎として生まれるが、体験される現象としては疑似的な継時直列性をもつと考えてもよさそうである。つまり知覚・運動のための並列システムは順次、中間レベルから高次レベルにピラミッドの階層を登るにつれて徐々に直列性をおびてくる。下位では同時的な分散並列型、上位では逐次的な中央集中型となるため全体として柔軟で敏速に環境に対応できるシステムになるのである。つまり覚醒から知覚あるいは運動的アウェアネス、さらにリカーシブな意識へと段階があがるにつれて意識は同時並列的なものから逐次直列的な性質をおびてくる。

(c) バインディング問題—局所統合から大統合へ—

ここまで意識の局在問題と並列性問題を考えてきたが、三番目の視点はバインディングをめぐる問題である。バインディング問題とは意識発現過程における情報の統合にかかわる問題だ。視覚的アウェアネスについて考えてみよう。たとえば、走行中の車の運動と車体の色は視覚皮質の異なるシステムで処理され、同時にそのエンジン音はやはり異なる場所にある聴覚皮質のシステムで処理されるにもかかわらず、われわれはそれらのモダリティーの異なる感覚情報をバインディングして一つのコヒーレントな知覚として意識している。ところが、これらの感覚情報が同時的に集められ束ねられる脳内部位（デカルトの劇場）は見つかっていない（上側頭溝がその一つの候補とされてはいるが）。それにもかかわらず、コヒーレントな知覚が生じている限り束ねは生じていると考えざるをえない。ここに、未解決の重要問題として意識生成における情報の束ねあるいは統合のメカニズムの問題が登場する。ここでは脳内の異なる部位とモジュールで並列分散的に処理された情報がどのように統合されるかという問題を脳のバインディング問題と呼ぼう。

局所的バインディングの例として“何が”と“どこで”のバインディングを視覚的アウェアネスにみてみよう。バインディングの脳内メカニズムを推測してみるまえに、まず視覚の目標はなにかということについてみてみよう。視覚の計算理論を提唱しながら若くして白血病でたおれたマサチューセッツ工科大学のマーによれば初期の視覚のおもな目標は外界の物体の記述つまり“何が what”の情報をつくることだ。しかし視覚の目標が“何が”という外界の記述のみで終わってしまっただけでは意味がない。外界のどこで何が起きているのかをすばやく知るには、“何が”という情報と“どこで where”という情報が束ねられる必要がある。さらにそれが適応的な行動に導かれる必要がある。V1 から側頭葉に向かう腹側経路の“何が”の情報と頭頂葉に向かう背側経路の“どこに”の情報の統合が必要となってくる。両経路の最終目標は二つの情報のバインディングにより環境に適応した行動を導くことにあると考えられる。what と where の情報はバインディングにより束ねられる。とくに背側経路は随意運動の制御を行う前頭葉とむすびついた身体行動を予測させるし、頭頂葉にあると推定される空間的注意の制御機構とも密接に関連すると想像される。

これは知覚や注意のはたらきを行動のための能動的な選択を含む過程とする考えとも一致している。だから“何が”と“どこに”のバインディングはまさに認識と行動をブリッジするものだといえる。視覚の進化のなかで環境にすばやく適応するための独立ですばやく動く専用の二つの処理経路が必要不可欠であったためなのであろう。初期の視覚的アウェアネスのレベルでは、視野のなかのどこに何があるかは自動的かつ無意識的はたらくバインディングによって導かれていると思われる。

バインディングの脳内メカニズムはまだわかっていないが、理論的にはバインディングには2種類あるといわれている。空間的バインディングと時間的バインディングである。空間的バインディングは複数の情報が脳内のある場所に集められるという一種の劇場派のアイデアにつながる。この考えでゆくとバインディングされる情報の組み合わせは無数にあるので、情報を集めてバインディングするための脳内の場所（多くのミニ劇場）が爆発的に増加し合理的であるとは思えない。またマルチモーダルな情報を集めている脳内の部位さえ発見されていないのだから、何か別のバインディング機構があるはずである。その候補が時間的バインディングである。時間的バインディングとは平たくいえば同じ対象であるかぎり、その対象が異なる側面をもっていてもそれらが同じ時間位相で生起しているかぎり、それらは同一の認識対象の性質に帰される（束ねられる）ことをいう。これは脳内には同じ知覚対象の異なる属性の入力に対し共鳴的に応答する時間的発振パタンのようなものがあって、それが時間的にバインディングをかけているのではないかというアイデアでもある。ここでは時間位相の同時性が束ねに影響をもっている。マックスプランク研究所の神経科学者 Gray & Singer (1989)により、動物実験で脳内の異なる部位での情報のバインディングが、時間的束ねをかけることにより達成されているのではないかという研究が報告され注目されている。具体的には、40ヘルツ近傍の周波数をもつニューロンの発火パタンが時間的なバインディングをかけているのではないかと推測されている。時間的バインディングは脳自身が固有にもっている時間位相（情報処理のための自励発振の波の位相、ガンマ・オシレーションなどと呼ばれている）とかかわっている。たとえば、見ている対象の複数の属性は脳内でのガンマ・オシレーションの波が同じ時間位相内で処理されればそれはコヒーレント（整合的）なみえの知覚をもたらすと考える。時間的バインディングでは脳のどこかに情報を集める必要がないのでミニ劇場が爆発的に増加する問題はクリアできる。以上のようなモジュール間の情報の束ねをここでは局所的バインディングとよんでおこう。そして、局所的バインディングをさらに大きなバインディングに繰り込んでゆくのがより高次の意識のはたらきであり、局所統合から大統合へという脳のバインディングの戦略なのである。

まとめ

意識の科学的研究は始まったばかりであり、脳の高次機能の中でも最も神秘性に満ち複雑性に富んだ意識の研究に対する有効な方法論がさまざまなアプローチで模索中されている。意識の問題が脳の神経科学を強く志向した一元論的アプローチで近い将来に解かれるとは

思えないが、二十世紀末までの意識研究はさしあたり脳のはたらきの物質的基礎を神経科学的（場合によっては量子力学的）アプローチによって洗い出し、それに情報処理的表現をあたえることに終始するだろう。情報処理としての意識のはたらきというものは結局、認知と行動を結びつけるためにいろいろな階層レベルで選択的バインディングをかけ、さらに容量限界の制約により時空間的整合性と構造的秩序をもたらしているように考えられる。そして、自己意識は何のためにあるのかという問については、さしあたり自分が何を考えているかを知りうることにより、自分以外の人々が何を考えているかがわかるからであるという答えを出しておこう。つまり、ヒトは環境への適応の最適化を計るため脳の中に意識という認識と行動の“シミュレータ装置”をもっていると考えるのである。

紙幅の関係で意識の量子論を始めとする意識の情報処理モデル、注意の神経機構などについては触れられなかった。前者については苧阪（1996a）、後者については苧阪（1994）を参照されたい。さらに、最近の意識の実験的、理論的研究については気鋭の神経生理学者、情報工学者、神経心理学者、認知科学者の共同執筆になる苧阪編（1996b）を参照されたい（今秋刊行予定）。

文献

Churchland, P.S. (1986) *Neurophilosophy: Toward a unified science of the mind*. MIT Press.

Crick, F. (1994) *The astonishing hypothesis: The scientific search for the soul*. Charles Scribner's Sons. [中原英臣訳、DNAに魂はあるか—驚異の仮説—（1995）講談社]

Crick, F., & Koch, C. (1992) The problem of consciousness. *Scientific American*, September. (松本修文訳、意識とは何か、日経サイエンス、1992年11月号)

Gray, C.M., & Singer, W. (1989) Stimulus-specific neuronal oscillations in orientation columns of cat visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Science, U.S.A.*, 86, 1698-1702.

Johnson-Laird, P.N. (1983) *Mental models*. Cambridge University Press. [海保博之監修、メンタル・モデル（1988）産業図書]

Felleman, D., & Van Essen, D. (1991) Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex*, 1, 1-47.

Minsky, M. (1985) *The society of mind*. Simon & Schuster [安西祐一郎訳、心の社会（1990）産業図書]

苧阪直行（1994）注意と意識の心理学、岩波講座・認知科学・第9巻“注意と意識”（伊藤正男他編）、岩波書店。

苧阪直行（1996a）意識とは何か—科学の新たな挑戦—、岩波科学ライブラリー36、岩波書店。

苧阪直行編（1996b）脳と意識、朝倉書店。